

"UP-HILL" - VERFAHREN ZUR WÄRMEBEHANDLUNG UND ZUR REDUZIERUNG VON EIGENSPANNUNGEN VON AUS EINER LEICHTMETALLSCHMELZE, INSBESONDERE EINER ALUMINIUMSCHMELZE, ERZEUGTEN GUSSTEILEN

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Wärmebehandeln von aus einer Leichtmetallschmelze, insbesondere einer Aluminiumschmelze, erzeugten Gussteilen.

Von im praktischen Einsatz hochbelasteten, aus Leichtmetallen erzeugten Gussteilen werden maximale Festigkeiten gefordert. Dies gilt insbesondere für aus Aluminium gefertigte Zylinderköpfe von Verbrennungsmotoren, die insbesondere bei Dieselmotoren aufgrund der immer höher werdenden Zünddrücke im praktischen Betrieb erheblichen Belastungen ausgesetzt sind.

Hohe Festigkeiten von Leichtmetallwerkstoffen können durch Auswahl einer geeigneten Legierung erhalten werden, die nach dem Vergießen einer Wärmebehandlung unterzogen werden. So besteht beispielsweise bei aushärtbaren Aluminiumlegierungen die Möglichkeit, durch Anwendung einer so genannten T6/T7-Wärmebehandlung das Festigkeitsniveau beträchtlich anzuheben. Das maximale Steigerungspotential besteht dabei dann, wenn die Gussstücke nach einer Lösungsglühbehandlung im Wasserbad abgeschreckt und anschließend warm ausgelagert werden.

Den Vorzügen der Wasserabschreckung steht allerdings der entscheidende Nachteil gegenüber, dass sich insbesondere bei der Abschreckung von komplex geformten Bauteilen hohe Eigenspannungen einstellen können. Diese Eigenspannungen führen dazu, dass das abgeschreckte Bauteil zwar erhöhte Festigkeiten aufweist, dass diese Festigkeiten jedoch durch die durch die Eigenspannungen verursachten Nachteile aufgehoben oder von den Nachteilen gar übertroffen werden.

Um den mit der Abschreckung verbundenen Nachteilen abzuhelpen, ist im Artikel "Uphill quenching of aluminium: rebirth of a little-known process" von T. Coucher, veröffentlicht in Heat Treating/ October 1983, Seite 30 ff., eine thermische Nachbehandlung vorgeschlagen worden, bei der die Gussteile nach dem Abschrecken in ein Bad aus flüssigem Stickstoff getaucht werden, dessen Temperatur bei etwa -196°C liegt. Bei dieser Tieftemperatur werden sie solange gehalten, bis sich in dem Gussteil eine homogene Temperaturverteilung eingestellt hat.

Sobald die homogene Temperaturverteilung erreicht ist, wird gemäß dem bekannten Verfahren das auf Tieftemperatur gekühlte Bauteil plötzlich auf eine hohe Temperatur hochgeschreckt. Für dieses Hochschrecken wird das kalte Bauteil einem heißen Wasserdampfstrahl ausgesetzt oder in ein heißes Wasserbad getaucht.

Durch das Hochschrecken auf die hohe Temperatur wird ein Ausgleich des Spannungsprofils bewirkt, das sich beim Abschrecken des Gussteils eingestellt hat. Dieser Effekt lässt sich dadurch erklären, dass sich beim Abschrecken ausgehend vom Kern des Gussteils in Richtung der Außenbereiche ein abfallender Temperaturgradient aufbaut.

Aufgrund des Bestrebens der Randschicht, sich in Folge der Abkühlung zusammenzuziehen, kommt es dabei zu erheblichen Druckspannungen zwischen den Randschichten und der Kernzone des Gussstücks.

Wird das Gussteil auf Tieftemperatur gekühlt und anschließend plötzlich wieder erwärmt, so erhitzt sich die Randschicht, während der Kernbereich weiterhin kalt bleibt. Da der Kern ihre Ausdehnung behindert, werden die Außenbereiche in Folge der Erwärmung unter Druckspannungen gesetzt, die genau umgekehrt zu den Druckspannungen sind, die sich als Resultat der Abschreckung einstellen. Die plötzliche Wiedererwärmung nach der Tieftemperaturabkühlung stellt als solche folglich eine Umkehr des Abschreckprozesses sowohl hinsichtlich der durchgeführten Maßnahmen als auch hinsichtlich der eintretenden Spannungen im Bauteil dar.

Praktische Versuche zeigen, dass sich mit dem bekannten Uphill-Quenching-Verfahren zwar Gussteile herstellen lassen, deren Eigenspannungen gegenüber lediglich konventionell abgeschreckten Gussteilen verbessert sind. Allerdings erweist sich diese Vorgehensweise insbesondere für die großtechnische Serienfertigung als zu wenig effektiv.

Ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik bestand daher die Aufgabe darin, ein Verfahren zu schaffen, mit dem sich Eigenspannungen von komplex geformten Gussstücken besonders wirkungsvoll beseitigen lassen und das gleichzeitig kostengünstig und effizient im Rahmen der Serienfertigung einsetzbar ist.

Diese Aufgabe ist ausgehend von dem voranstehend erläuterten Stand der Technik erfindungsgemäß durch ein Verfahren zum Wärmebehandeln von aus einer Leichtmetallschmelze, insbesondere einer Aluminiumschmelze, erzeugten Gussteilen, gelöst worden, bei dem das Gussteil nach einer Glühbehandlung oder aus der Gießhitze abgeschreckt, nach der Abschreckung auf eine Tieftemperatur abgekühlt und im Anschluss an die Tieftemperaturabkühlung plötzlich auf eine hohe Temperatur erwärmt wird, indem es in eine Salzschnmelze eingetaucht wird, deren Temperatur oberhalb der Siedetemperatur von Wasser bei Normaldruck liegt.

Der Erfindung liegt der Gedanke zu Grunde, die nur geringe Hochschreck-Wirksamkeit des im Stand der Technik für diesen Zweck eingesetzten Wasserdampfs durch Verwendung von einer Salzschnmelze für die schnelle Erwärmung zu verbessern. Der Vorteil der erfindungsgemäßen Verwendung von Salzschnmelze besteht darin, dass eine solche Schnmelze auf Temperaturen erwärmt werden kann, die deutlich über dem Siedepunkt von Wasser bei Normaldruck liegen. So lassen sich Salzschnmelzen problemlos auf Temperaturen von 150 °C und mehr erwärmen. So können Salzschnmelzentemperaturen von 250 °C und mehr eingestellt werden, um eine möglichst große Temperaturdifferenz zwischen der Tieftemperatur und der Schnmelzenbadtemperatur zu erreichen.

Ein weiterer Vorteil der Verwendung von Salzschnmelze als Medium zur Wärmeübertragung während des plötzlich erfolgenden Hochschreckens besteht darin, dass der Wärmeübergang zwischen einer Salzschnmelze und dem jeweiligen Gussstück deutlich besser ist als beim Stand der Technik, bei dem das Gussteil lediglich Wasserdampf

ausgesetzt worden ist. Hinzu kommt, dass sich Salzschnelzen trotz ihrer deutlich höheren Temperaturen wesentlich besser beherrschen lassen als Wasserdampf.

Im Ergebnis lässt sich durch das erfindungsgemäß im Salzschnelzenbad erfolgende Hochschracken der zuvor auf eine Tieftemperatur angekühlten Gussteile der für den Erfolg des gesamten Wärmebehandlungsprozesses wesentliche Temperaturgradient deutlich gegenüber dem beim Stand der Technik erreichten verbessern. Ein hoher Temperaturgradient erzeugt eine grundsätzlich höhere Kompensation der nach dem Abschracken im jeweiligen Gussteil vorhandenen Eigenspannungen.

Somit steht mit der Erfindung nicht nur ein kostengünstig und sicher durchführbares Verfahren zum Wärmebehandeln von Gussstücken zur Verfügung, sondern dieses Verfahren führt auch noch zu Gussteilen, die gegenüber den nach dem Stand der Technik produzierten Stücken verbesserte Eigenschaften besitzen. So lassen sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren qualitativ hochwertige Bauteile aus Leichtmetall, insbesondere Aluminium, auch dann erzeugen, wenn diese Gussteile eine besonders komplexe, fein strukturierte Form aufweisen, wie es beispielsweise bei Zylinderköpfen für Verbrennungsmotoren der Fall ist.

Grundsätzlich kann die Erfindung unabhängig davon angewendet werden, wie das jeweilige Gussteil abgeschrackt worden ist. Besonders wirkungsvoll erweist es sich jedoch dann, wenn die Gussteile in an sich bekannter Weise mit Hilfe von Wasser oder einem vergleichbar intensiv wirkenden Abschrackmittel abgeschrackt worden sind.

Im Hinblick darauf, dass möglichst große Differenzen zwischen der Tieftemperatur angestrebt werden, auf die die Gussteile nach dem Abschrecken abgekühlt werden, und der Hochschrecktemperatur des Salzschnmelzenbades, in dem die tiefgekühlten Gussteile hochgeschreckt werden, ist es günstig, wenn die Tieftemperatur weniger als -180°C beträgt. Dies lässt sich dadurch bewerkstelligen, dass das abgeschreckte Gussteil zum Abkühlen auf die Tieftemperatur in flüssigen Stickstoff getaucht wird, welcher bei Normaldruck eine Temperatur von ca. -196°C besitzt.

Eine andere, voranstehend bereits angedeutete Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Salzschnmelze auf mindestens 150°C , insbesondere auf mindestens 250°C erwärmt ist, um die Wirkung der zwischen dem Tiefkühl- und dem Hochschreckbad bestehenden Temperaturdifferenzen zu unterstützen.

Die Salzkonzentration der erfindungsgemäß verwendeten Salzschnmelze beträgt bevorzugt mindestens 98 Gew.-%, damit hohe Badtemperaturen sicher erreicht werden und eine ebenso hohe Wärmeleitfähigkeit der Schnmelze in Bezug auf das jeweils behandelte Gussteil gewährleistet ist. Dabei werden als Salze bevorzugt Nitrate und / oder Chromate, insbesondere Alkali- oder Erdalkalimetallnitrate und -chromate, wie NaNO_3 , KNO_3 oder Na_2CrO_4 .

Praktische Versuche an aus einer AlSi7MgCu0,5 Aluminiumlegierung gegossenen Zylinderköpfen haben die Wirksamkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens eindrucksvoll bestätigt.

Die Zylinderköpfe wurden nach einer vorangegangenen Glühbehandlung von einer 520 °C betragenden Temperatur in Wasser auf ca. 60 °C abgekühlt. Nach einer kurzen Ruhephase an Luft erfolgte eine Tieftemperaturabkühlung in flüssigem Stickstoff bei einer Tieftemperatur von -196 °C. Die Kühlzeit war dabei so lang, dass eine homogene, gleichmäßige Temperaturverteilung in dem jeweiligen Zylinderkopf vorlag. Sobald dieser Zustand erreicht war, erfolgte eine plötzliche Aufheizung auf ca. 240 °C.

Dazu wurden die Zylinderköpfe in ein mehr als 250 °C heißes Salzschnmelzenbad getaucht, das zu 52 Gew.-% aus NaNO_3 , zu 46,4 Gew.-% aus KNO_3 , zu 1,3 Gew.-% aus NO_2 und zu 0,24 Gew.-% aus Na_2CrO_4 bestand. Bei einem ersten Versuchsablauf wurden die auf diese Weise von der Tieftemperatur auf die hohe Temperatur aufgeschreckten Zylinderköpfe auf Raumtemperatur abgekühlt, in dem sie mit Wasser überspült worden sind. Dies diente dazu, die auf den Zylinderköpfen haftenden Salzreste sicher abzuspülen. In einer zweiten Versuchsdurchführung wurden die aufgeschreckten Zylinderköpfe in deutlich längerer Zeit an ruhender Luft auf Raumtemperatur gekühlt.

Diag. 1 zeigt den Verlauf der Temperatur T der Gussstücke bei der erfindungsgemäßen Wärmebehandlung aufgetragen über die Zeit. Dabei ist der Versuchsverlauf, bei dem die Abkühlung der aufgeschreckten Zylinderköpfe mit Wasser erfolgte mit "Uphill + water" gekennzeichnet, während der Versuchsverlauf, bei dem die abschließende Abkühlung mit Luft erfolgte, mit "Uphill + air" markiert ist.

Durch die Anwendung der erfindungsgemäßen Verfahrensweise konnten die Eigenspannungen der Zylinderköpfe auf ein Maß

reduziert werden, das dem nahe kommt, welches bei konventionellem Vorgehen nur dann erreicht wird, wenn nach der Glühbehandlung nicht in Wasser abgeschreckt, sondern verhältnismäßig langsam an Luft abgekühlt wird.

Diag. 2 zeigt diesen Erfolg des erfindungsgemäßen Verfahrens. Bei Abkühlung an Luft nach der Glühbehandlung werden Eigenspannungen ("Stress") im Bereich von lediglich 21 MPa erreicht. Dieser Wert ist in Diag. 2 durch die Säule "air" dargestellt. Allerdings weisen die nach der Glühbehandlung langsam an Luft abgekühlten Bauteile nur geringe Festigkeiten auf. Erfolgt nach der Glühbehandlung eine Abschreckung in Wasser, so liegt das Niveau der Eigenspannungen bei Zylinderköpfen, die in konventioneller Weise lediglich in Wasser auf 60 °C ohne anschließende Tieftemperatur-Aufschreckerwärmung abgekühlt werden, bei 103 MPa. Der betreffende Wert ist im Diag. 2 durch die Säule "water60" repräsentiert. Erfolgt dagegen nach dem Abschrecken in Wasser die voranstehend erläuterte erfindungsgemäße Wärmebehandlung, so liegen in dem Fall, dass nach dem Aufschrecken auf 240 °C eine Abkühlung mit Wasser durchgeführt wird, Eigenspannungen im Bereich von 42 MPa vor (Säule "uphill + water" in Diag. 2). Eine noch bessere Verminderung der Eigenspannungen wird erzielt, wenn die Zylinderköpfe nach dem Aufschrecken langsam an Luft auf Raumtemperatur gekühlt werden (Säule "uphill + water" in Diag. 2). Die derart in erfindungsgemäßer Weise wärmebehandelten Zylinderköpfe weisen Eigenspannungen von 27 MPa auf und sind somit bei wesentlich höheren Festigkeiten des Gussstücks nur um 6 MPa größer als die Eigenspannungen, die bei reiner Abkühlung an Luft erzielt werden.

Die Erfindung ermöglicht es somit, die Vorteile einer mit hoher Abkühlrate erfolgenden Abschreckung, nämlich die Steigerung der Festigkeit des jeweiligen Gussteils, zu nutzen, ohne dazu große Eigenspannungen in Kauf nehmen zu müssen. Die erhaltenen Bauteile weisen eine hohe Festigkeit bei gleichzeitig minimierten Eigenspannungen auf und sind dementsprechend auch höchsten Belastungen im praktischen Betrieb gewachsen.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zum Wärmebehandeln von aus einer Leichtmetallschmelze, insbesondere einer Aluminiumschmelze, erzeugten Gussteilen, bei dem das Gussteil
 - nach einer Glühbehandlung oder aus der Gießhitze abgeschreckt,
 - nach der Abschreckung auf eine Tieftemperatur abgekühlt und
 - im Anschluss an die Tieftemperaturabkühlung plötzlich auf eine hohe Temperatur erwärmt wird, indem es in eine Salzschnelze eingetaucht wird, deren Temperatur oberhalb der Siedetemperatur von Wasser bei Normaldruck liegt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Abschreckung des Gussteils mit Hilfe von Wasser erfolgt.
3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Tieftemperatur weniger als -180 °C beträgt.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Gussteil zum Abkühlen auf die Tieftemperatur in flüssigen Stickstoff getaucht wird.
5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Gussteil so lange bei der Tieftemperatur gekühlt wird, bis seine Kerntemperatur im Wesentlichen gleich der Tieftemperatur ist.
6. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Salzschnelze auf mindestens 150 °C erwärmt ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Salzschnelze auf mindestens 250 °C erwärmt ist.
8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Salzschnelze eine Salzkonzentration von mindestens 98 Gew.-% aufweist.
9. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die als Salze der Salzschnelze Nitrate und / oder Chromate, insbesondere Alkali- oder Erdalkalimetallnitrate und -chromate, wie NaNO_3 , KNO_3 oder Na_2CrO_4 , verwendet werden.

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei den Gussteilen um Zylinderköpfe handelt.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
es sich bei den Gussteilen um Motorblöcke handelt.